4C

УДК 629.7

В.В. Старовойтов, Ю.И. Монич
Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси, г. Минск,
valerystar @ mail.ru

Распознавание человека по изображению радужной оболочки глаза: проблемы и достижения

В статье рассматривается современное состояние актуального раздела биометрики – распознавания человека по изображению радужной оболочки глаза. Анализируются возникающие проблемы и подходы к их решению. Представлены результаты экспериментальных исследований распознавания личности по изображению радужной оболочки глаза.

Введение

Технология распознавания личности по изображениям радужной оболочки глаза (РОГ) считается самой надежной из биометрических систем, но и достаточно дорогой. С каждым годом она становится дешевле и реализуется многими организациями в виде коммерческих систем, которые сегодня эксплуатируются в различных областях.

Национальная система единого пограничного контроля Правительства Объединенных Арабских Эмиратов (ОАЭ) взяла на вооружение технологию распознавания личности по изображению РОГ в 2001 году. В 2003 г. было проверено свыше 300’000 въезжающих в страну граждан и задержано свыше 650 незаконно въезжающих лиц. Была проведена регистрация РОГ всех заключенных и депортированных лиц. Проводится идентификационная проверка РОГ всех прибывающих пассажиров в каждом пункте пограничного контроля страны в режиме реального времени независимо от предъявленных документов. В 2006 году в ОАЭ была собрана база изображений глаз, содержащая 840 751 запись (представлены 153 национальности). При такой базе ежедневно выполнялось до 6 225 761 155 сравнений. При этом регистрация двух изображений глаз одного пользователя и запись их в БД оператором занимает не больше двух минут, получение шаблона РОГ и занесение информации о пользователе выполняется не больше, чем за 30 – 45 секунд, поиск в БД занимает несколько секунд [1].

В 2006 году эту технологию установили в аэропортах Великобритании (Хитроу, Гэтвик, Бирмингем, Станстед). В этом же году компания Oki Electric Industry Co., Ltd объявила о завершении разработки новой системы идентификации пользователей по рисунку РОГ для мобильных устройств (Iris Recognition Technology for Mobile Terminals, IRTMT). Технология основана на использовании уникальных алгоритмов компании с применением обычных фотокамер, встраиваемых в мобильные устройства.

В 2009 году управление исправительных учреждений штата Новый Южный Уэльс (Австралия) заключило контракт на поставку систем биометрической идентификации по РОГ во все исправительные учреждения штата. Заключенный контракт стал первой масштабной сделкой по поставкам в госсектор Австралии систем биометрической идентификации по РОГ.

Рассмотрим основные этапы системы распознавания личности по изображению радужной оболочки глаза (РОГ).

На первом этапе специализированной оптической системой выполняется регистрация изображения глаза (специализация заключается в подсветке ближним инфракрасным излучением в определенном участке спектра). Далее анализируется подлинность и качество полученного изображения. Если изображение удовлетворительного качества, выделяются границы РОГ.

Радужная оболочка глаза имеет форму эллипса с неровными краями, которую можно с небольшой погрешностью, не сильно влияющей на результаты распознавания, аппроксимировать окружностью. Поэтому в ГОСТ Р ИСО/МЭК 19794-6-2006 [2] в качестве геометрической модели РОГ используются неконцентрические окружности для представления внешней и внутренней границ. В рамках наших исследований также использовалась эта модель. Далее неконцентрические окружности, соответствующие границам РОГ, преобразуются в концентрические окружности, а затем в прямоугольный шаблон фиксированного размера (250x50 пикселей), по которому вычисляется код, характеризующий данную РОГ.

На последнем этапе полученный код РОГ сравнивается с кодами из базы данных зарегистрированных пользователей (БДЗП). В качестве меры сходства двух РОГ часто используется расстояние Хэмминга, которое принимает значения от 0 до 1 (чем ближе к нулю, тем больше изображения похожи друг на друга). Порог, разделяющий классы изображений РОГ одинаковых и разных глаз («своих» и «чужих»), определяется в процессе настройки системы на выборке изображений, зарегистрированных определенной оптикой в определенных условиях освещения.

Несмотря на активные исследования в области распознавания личности по цифровому изображению РОГ, все еще многие алгоритмы и системы распознавания имеют ряд недостатков, которые требуют дополнительных исследований. Например:

– оперативный анализ полученного изображения глаза на подделку;

– оперативный анализ качества регистрируемых изображений глаз;

– методы выделения границ РОГ (внутренней и внешней) часто неустойчивы к различным шумам в виде закрывающих РОГ век, ресниц, бровей, теней, бликов;

– недостаточно исследованы варианты яркостной нормализации изображения РОГ;

– при сужении и увеличении зрачка происходят нелинейные изменения текстуры РОГ, а в современных биометрических системах эти изменения считаются линейными. Это ведет к искажениям при геометрической нормализации области РОГ. Оценка допустимых искажений не исследовалась;

– не исследован вопрос выбора оптимального спектрального диапазона для регистрации. Не ясно, может ли он быть постоянным, или его нужно менять в зависимости от расы, цвета РОГ и т.п. Не исследовались варианты регистрации РОГ в нескольких спектральных диапазонах и последующего анализа такого мультиспектрального набора;

– не исследованы вопросы построения вектора-признака РОГ по нескольким изображениям глаза;

– на этапе преобразования из декартовых координат в полярные не исследован вопрос выбора оптимального размера шаблона РОГ;

– не исследован вопрос способа комбинации признаков РОГ при построении кода РОГ для увеличения точности распознавания;

– предлагаемые меры сравнения кодов РОГ не достаточно точно позволяют сравнивать коды РОГ одинаковых глаз.

Трудности при регистрации изображения глаза

При прохождении процедур верификации или идентификации, во время регистрации изображения глаза, могут возникать различные трудности, которые впоследствии могут повлиять на распознавание личности, например:

1. РОГ может иметь различные физические дефекты [3].

2. Блики от источников света на зрачке, РОГ и их границах [1] могут затруднить процесс сегментации РОГ.

3. Различия в условиях освещения и регистрирующих оптических системах приводят к получению отличающихся кодов РОГ одних и тех же глаз [1], [4].

4. Ресницы и веки могут закрывать значительную часть РОГ [5].

5. Темный оттенок РОГ (характерный для жителей Юго-Восточной Азии) затрудняет выделение границы зрачка. Было показано, что темные глаза целесообразно регистрировать в ближнем инфракрасном спектре (ИК), а светлые – в видимом диапазоне. До сих пор остается невыясненным вопрос о том, какая длина волны оптимальна. Стандартами [2], [6] рекомендовано освещение в диапазоне 700 – 900 нм (красный и ближний ИК). Однако это достаточно широкий диапазон, в котором возможно сильное изменение регистрируемой картины, поэтому в стандарте предписано указывать точные характеристики осветителей [7].

6. Регистрация людей с ярко выраженными непроизвольными колебательными движениями глаз с высокой частотой (до нескольких сотен в минуту). В настоящее время некоторые камеры имеют стробоскопическое освещение (мигающее ИК) и очень быстро могут получать изображения [8].

7. Движение головой и моргание может привести к смазанному изображению РОГ.

8. Разрешение регистрируемого изображения должно быть достаточно большим. Увеличение разрешающей способности ведет к уменьшению глубины резкости, из-за чего ресницы и веки на изображении могут оказаться в фокусе и быть резкими, четкими, а область РОГ может быть размытой.

9. Попытки подделать образцы РОГ злоумышленниками для получения несанкционированного доступа к какому-либо объекту или информации [9], [10].

10. Наличие контактных линз (их носят около 125 миллионов человек в мире) и очков затрудняет, а иногда делает невозможным процесс корректного кодирования и распознавания по РОГ [1], [4].

11. Небольшие изменения в рисунке РОГ с течением времени. Авторы [4], [11] собирали и анализировали базу изображений глаз на протяжении четырех лет и пришли к выводу, что чем больше проходит времени между датами получения изображений глаз, тем больше будет разница при сравнении кодов этих РОГ.

12. Невозможна регистрация изображений РОГ слепых, потерявших глаз, перенесших глазные травмы и операции людей [12].

Борьба с подделками

Подделки радужной оболочки глаза могут быть разных видов. Вместо глаза человек может предоставить для регистрации фотографию, видеозапись, модель глаза (муляж), вырезанный глаз.

Рассмотрим способы обнаружения некоторых подделок [13].

1. Анализ спектра отражения от поверхности глаза. Спектр отражения живой влажной роговицы отличается от модели роговицы из стекла или пластика. Способ не дает

100% гарантии, что предъявляемый глаз не является подделкой, так как подделку (мертвый глаз, модель глаза) можно смочить или покрыть слоем влажной белковой эмульсии (раствором желатина). Пройти идентификацию с подделкой сложнее, если спектр отражения поверхности глаза вычислять не один раз, а несколько. Этот процесс должен происходить в случайно выбранные моменты времени, с разной силой и направлением свечения диодов подсветки.

2. Исследование гиппуса (ритмичных сужений и расширений зрачка), нистагма (ритмичных движений глазных яблок, например, когда человек наблюдает за быстро движущимся объектом). Способ не дает 100% гарантии, так как у некоторых людей эти движения выражены очень слабо или происходят редко (один раз за несколько минут).

3. Мигание случайно выбранных светодиодов осветителя в случайно выбранные моменты времени и проверка отражения осветителя на соответствующих кадрах видеопоследовательности.

4. Использование инфракрасного освещения для определения состояния ткани глаза.

5. Регистрация движений глаза при подаче голосовых команд – посмотреть вниз, влево, моргнуть и т.д.

6. Кратковременный поворот глаз к яркому внезапному источнику света.

7. Анализ реакции зрачка на световой стимул, поданный в случайный момент времени – пупиллография, т.е. регистрация изменения размера зрачка. Пупиллограмма – график этого процесса. Недостатки при использовании пупиллографии: неприятные ощущения для пользователя во время подачи светового импульса; время, необходимое на обработку (до нескольких секунд на одного пользователя).

8. Анализ спектра Фурье изображений живого глаза и отсканированного [14].

Трудности при выделении границ

Выделение внутренней границы РОГ на изображении достаточно сложная задача, при решении которой могут возникать различные трудности.

1. Радиус зрачка может меняться в пределах 0,2 – 0,8 от радиуса РОГ, что влияет на распознавание [15]. Размер зрачка зависит от возраста (у пожилых людей зрачок меньше, чем у молодых), освещения, состояния здоровья человека, принятых человеком препаратов [16]. По результатам экспериментов с 1263 изображениями РОГ и статистического анализа был сделан вывод о том, что при большой разнице в размерах зрачка при сравнении изображений (для одних и тех же глаз и условий регистрации) качество распознавания заметно ухудшается [16]:

– параметр EER может вырасти на порядок (от 0,006 до 0,068 в шкале [0, 1]);

– расстояние Хемминга для изображений одинаковых глаз в среднем увеличивается на 0,06 в шкале [0, 0,5], т.е. до 12%.

2. Зрачок может находиться в любом месте изображения, т.е. необязательно в центре [5].

3. Зрачок не обязательно является самой большой темной частью на изображении глаза, например, ресницы, брови, пятна на РОГ могут быть темнее зрачка [5].

4. Часть зрачка может быть закрыта ресницами или веками, что затрудняет его обнаружение [5].

5. На границе зрачок – РОГ могут находиться блики от источника света, что также затрудняет выделение границы зрачка [5].

6. Нечеткая граница самого зрачка.

7. Апериодические самопроизвольные движения (гиппус) зрачка.

8. Хронически расширенный зрачок. Диаметр зрачка должен быть меньше 75% диаметра РОГ для корректного распознавания.

Мера закрытости

После преобразования РОГ в прямоугольный шаблон необходимо провести анализ его закрытости веками, ресницами, бликами и т.п. Был разработан алгоритм оценки закрытости РОГ. Для оценки закрытости РОГ в прямоугольном шаблоне РОГ выделяется область *T* (рис. 1), которая вертикально разбивается на четыре равные части. В двух из областей вычисляется показатель закрытости РОГ *f*:

$$f = n_{iris} / n_{all} = \left[\sum_{(x,y)\in Z} n(x,y) \right] / \pi \left(r_2^2 - r_1^2 \right), \qquad n(x,y) = \begin{cases} 1, I_\mu \pm 2I_\sigma \\ 0, otherwise \end{cases} \qquad (1)$$

где r_1 – радиус зрачка, r_2 – радиус радужной оболочки, n_{iris} – видимая площадь радужной оболочки, n_{all} – общая площадь, I_μ – среднее значение яркостей двух квадратных блоков в области РОГ, I_σ – стандартное отклонение от среднего значения. Значение $2I_\sigma$ не является фиксированным, отклонение от среднего может варьироваться в каком-либо другом диапазоне.

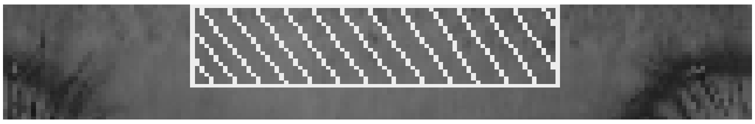


Рисунок 1 – Белым цветом показана область РОГ *T*, используемая для анализа закрытости РОГ

Если оценка закрытости РОГ $f > t$ (*t* определяется в процессе настройки системы на выборке изображений, зарегистрированных определенной оптикой в определенных условиях освещения) считать, что шаблон имеет хорошее качество, иначе – плохое и требуется перерегистрация изображения глаза.

Большинство описанных в литературе методов выделения зрачка базируются на детекторах края с выделением окружностей посредством преобразования Хафа [17-19], а также используют поиск концентрических окружностей посредством алгоритма, предложенного Даугманом [14]. Перечисленные выше трудности при сегментации РОГ очень часто затрудняют работу используемых в литературе алгоритмов. Поэтому для выделения внутренней границы РОГ был разработан следующий алгоритм.

Алгоритм выделения внутренней границы РОГ

1. Задать приблизительный радиус РОГ R.
2. Выполнить операцию заливки фоновыми пикселями исходного полутонового изображения глаза *(I)*.
3. Получить разницу между исходным изображением *(I)* и изображением, полученным на предыдущем шаге.
4. Найти приблизительные центр и радиус зрачка, оценивая расположение блика от источника света на изображении РОГ.
5. На изображении, полученном на шаге 2, уменьшить область для точного поиска зрачка (относительно найденных приблизительных координат центра зрачка и его радиуса), поскольку зрачок находится внутри РОГ и имеет размер от 20 до 80% ее диаметра. При этом РОГ должна полностью находиться в кадре.
6. Выполнить двунаправленную фильтрацию (Bilateral [20]) области фрагмента изображения, полученного на предыдущем шаге с параметрами $\sigma_r = 1$ и $\sigma_s = 7$.

7. Найти краевые точки, используя детектор краев Собеля.

8. Отфильтровать массив полученных краевых точек по яркости, расстоянию до центра зрачка и по направлению градиента в этих точках.

9. Вычислить точные значения радиуса и координаты центра зрачка, аппроксимируя полученные краевые точки окружностью. Найти радиус и уточненный центр окружности методом наименьших квадратов.

Выводы

В результате анализа литературы и экспериментальных исследований был представлен обзор основных проблем распознавания личности по изображению РОГ, которые требуют дополнительных исследований.

Предложены новые решения отдельных проблем, например, новая мера закрытости РОГ (1), позволяющая в реальном режиме времени оценить степень закрытости РОГ ресницами, веками, бликами, тенями. Разработан алгоритм выделения внутренней границы РОГ. Преимущество данного алгоритма заключается в более точном и быстром выделении границы зрачка.

Литература

1. Al-Raisi A.N., Al-Khouri A.M. Iris recognition and challenge of homeland and border control security in UEA / A.N. Al-Raisi, A.M. Al-Khouri // Telematics and Informatics. – 2008. – Vol. 25. – P. 117-132.
2. Автоматическая идентификация. Идентификация биометрическая. Форматы обмена биометрии-ческими данными : ГОСТ Р ИСО/МЭК 19794-6-2006. – 2007. – Часть 6. Данные изображения радужной оболочки глаза. – 28 с.
3. Егоров Е.А. Неотложная офтальмология : учебное пособие для вузов / А.В. Свирин, Е.Г. Рыбакова ; под ред. Егорова Е.А. – Москва : Гэотар Медиа, 2005. – 118 с.
4. That Degrade the Match Distribution In Iris Biometrics / K.W. Bowyer, S.E. Baker, A. Hentz, [et al.] // Identity in the Information Society. – 2009. – Vol. 2, № 3. – P. 327-343.
5. Barret W.A. A pupil finder / W.A. Barrett // National Biometrics Test Center. – San Jose State University, June 2000.
6. Information technology – Biometric data interchange formats : ISO/IEC 19794-6:2005. – Part 6 : Iris image data.
7. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.turniket.info/index/0-24. – Дата доступа : 10.06.2011.
8. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.icdri.org/biometrics/iris_biometrics.htm. – Дата доступа : 10.06.2011.
9. Ma L. Personal identification based on iris texture analysis / L. Ma, T. Tan // IEEE Transaction on pattern analysis and machine intelligence. – 2003, December. – Vol. 25, № 12. – P. 1519-1533.
10. Daugman J. Demodulation by complex-valued wavelets for stochastic pattern recognition / J. Daugman // Int'l J. Wavelets, Multiresolution and Information Processimg. – 2003. – Vol. 1, № 1. – P. 1-17.
11. Baker S.E. Empirical evidence for correct iris match score degradation with increased time-lapse between gallery and probe matches / S.E. Baker, K.W. Bower, P.J. Flynn // Lect Notes Comput Sci. – 2009. – 5558:1170-9.
12. Iris recognition as a biometric method after cataract surgery / R. Roizenblatt, P. Schor, F. Dante [et al.] // BioMedical Engineering OnLine. – 2004. – Vol. 3, № 1. – P. 2.
13. Ганькин К.А. Распознавание человека по радужке / И.А. Матвеев, К.А. Ганькин // Системы безопасности. – 2004. – № 5. – С. 72-76.
14. Daugman J. High confidence personal identification by rapid video analysis of iris texture / J.Daugman // Proc. Of the IEEE, International Carnahan conf. on security technology. – 1992. – P. 50-60.
15. Efficient iris recognition by characterizing key local variations / L. Ma, T. Tan, Y. Wang, D. Zhang // IEEE Trans Image Process. – 2004. June. – Vol. 13, № 6. – P. 739-750.
16. Hollingsworth K. Pupil dilation degrades iris biometric performance / K. Hollingsworth, K.W. Bower, P.J. Flynn // Computer Vision and Image Understanding. – 2009. – Vol. 113. – P. 150-157.

17. A Machine-Vision System for Iris Recognition / R. Wildes, J. Asmuth, G. Green [et al.] // Machine Vision and Applications. – 1996. – Vol. 9. – P. 1-8.
18. Ma L. Personal identification based on iris texture analysis / L. Ma, T. Tan // IEEE Transaction on pattern analysis and machine intelligence. – 2003, December. –Vol. 25, №. 12. – P.1519-1533.
19. Chen Y. Localized iris image quality using 2D wavelet / Y. Chen, S.C. Dass, A.K. Jain // Proc. of International Conference on Biometrics. – 2006. – P. 373-381.
20. Tomasi C. Bilateral Filtering for Gray and Color Images / C. Tomasi, R. Manduchi // Proc. of the Sixth International Conference on Computer Vision. – 1998, January. – Bombay, India.

Literatura

1. Al-Raisi, A.N.Telematics and Informatics. Vol. 25. 2008. P. 117-132.
2. GOST R ISO/MJeK 19794-6-2006. Avtomaticheskaja identifikacija. Identifikacija biometricheskaja. Formaty obmena biometricheskimi dannymi. Chast' 6. Dannye izobrazhenija raduzhnoj obolochki glaza. 2007. 28 s.
3. Egorov E.A. Neotlozhnaja oftal'mologija: uchebnoe posobie dlja vuzov. Moskva: Gjeotar Media. 2005. 118 s.
4. Bowyer K.W. Identity in the Information Society.– Vol 2. № 3. 2009. P. 327-343.
5. Barret W.A. National Biometrics Test Center. San Jose State University. June 2000.
6. ISO/IEC 19794-6:2005 “Information technology – Biometric data interchange formats – Part 6: Iris image data”.
7. http://www.turniket.info/index/0-24
8. http://www.icdri.org/biometrics/iris_biometrics.htm
9. Ma L.IEEE Transaction on pattern analysis and machine intelligence. Vol. 25. № 12. 2003. P. 1519-1533.
10. Daugman J. Int’l J. Wavelets, Multiresolution and Information Processimg. Vol. 1. № 1. 2003 P. 1-17.
11. Baker S.E. Lect Notes Comput Sci. 2009. 5558:1170-9
12. Roizenblatt, R. BioMedical Engineering OnLine. Vol. 3. № 1. 2004. P 2.
13. Matveev I.A. Zhurnal “Sistemy bezopasnosti”. № 5. 2004. S. 72-76.
14. Daugman J. Proc. Of the IEEE, International Carnahan conf. on security technology. 1992. P. 50-60.
15. Ma L. IEEE Trans Image Process. June, 2004. Vol. 13. № 6. 2004. P. 739-750.
16. Hollingsworth K. Computer Vision and Image Understanding. Vol 113. 2009. P. 150-157.
17. Wildes R. Machine Vision and Applications. Vol. 9. 1996. P. 1-8.
18. Ma L. IEEE Transaction on pattern analysis and machine intelligence. Vol. 25. № 12. 2003. P. 1519-1533.
19. Chen Y. Proc. of International Conference on Biometrics. 2006. P. 373-381.
20. Tomasi C. Proc. of the Sixth International Conference on Computer Vision. Bombay, India. January, 1998.

В.В. Старовойтов, Ю.І. Моніч

Розпізнавання людини за зображенням райдужної оболонки ока: проблеми і досягнення

У статті розглядається сучасний стан актуального розділу біометрики – розпізнавання людини за райдужною оболонкою ока. Аналізуються проблеми, що виникають, і підходи до їх рішення. Представлені результати експериментальних досліджень розпізнавання особи за зображенням райдужної оболонки ока.

V.V. Starovoitov, Y.I. Monich

Iris Recognition: Problems and Achievements

The current state of the actual branch of biometrics, i.e. human identification by iris image analysis, is discussed in the paper. We analyze existing problems and variants of their solution. Some experimental results on iris recognition are presented.

Статья поступила в редакцию 16.06.2011.